

論文審査の結果の要旨

氏名 矢島 健

本論文は、遷移金属酸化物 **ReRAM** におけるブリッジ構造形成機構解明、および新規素子作製手法開発について述べられたものである。論文は、全 7 章からなる。

第 1 章「二元系酸化物 **ReRAM** とは」では、本研究の着想に至った背景として、二元系酸化物 **ReRAM** について述べられている。抵抗変化型メモリ **ReRAM** は、現在の **Si** を用いた不揮発性メモリに替わる次世代メモリの最も有望な候補として注目されている。しかしその動作機構は解明されたとは言い難く、実用化に向けて動作機構の早期解明が望まれる。二元系酸化物の素子では、初期化操作 **Forming** の際に電極間に形成されるブリッジ構造が、メモリ動作の礎となる抵抗スイッチングの舞台である。このブリッジ構造内部に金属フィラメントが存在し、その局所的な酸化還元により生じる抵抗変化が動作モデルとして提案されている。したがって、ブリッジ構造の形成機構や形成後の内部組成分布などを明らかにすることが、二元系酸化物 **ReRAM** のスイッチング機構解明および高性能化に向けて最重要である。

第 2 章「本研究の目的」では具体的な目的が述べられている。抵抗スイッチングの正体が酸化還元であるとするならば、その主役と言える酸素の動きに着目することで、ブリッジ構造形成機構を解明することができるかと期待される。また形成機構を明らかにすることにより、機構に基づいた新規デバイス作製手法の提案を行うことが可能であると期待される。このような指針に従い、研究を行い、第 4 章から第 6 章の成果を得た。

第 3 章「試料作製および測定」では、本研究で用いた試料作製方法および実験装置について説明がなされ、特殊なものについては原理まで紹介されている。

第 4 章「ブリッジ構造形成時の酸素拡散追跡」では、**Forming** により形成されるブリッジ構造形成機構を明らかにした。酸素トレーサーとして ^{18}O イオンを注入した Planer 型 **Pt/CuO/Pt** 素子を用いた **SIMS** マッピング分析から、ブリッジ構造形成時の酸素の空間的な動きを可視化することに成功した。その結果、ブリッジ構造形成時に素子表面付近の酸素は大気へと拡散されること、アノード方向への酸素の輸送が存在すること、ブリッジ構造内部には金属フィラメントを中心とした酸素量のグラデーションが形成されることを明らかにした。また顕微ラマン分光から、ブリッジ構造形成後の内部組成分析を行い、ブリッジ構造形成時に **CuO** の一部が **Cu₂O** へと還元されることを明らかにした。

第 5 章「単結晶を用いた微細化極限の探索」では、**ReRAM** 微細化を目指す上で重要となる、ブリッジ構造幅の微細化極限について述べられている。メモリの記録密度向上は、素子の微細化によりなされる。そこで、素子にガイド構造を導入することによって微細化を行った結果、ガイド構造による狭窄および投入電力の抑制、単結晶基板を用いることで、少なくとも幅 100 nm 以下までは微細化が可能であり、現行 **Si** デバイスと同等以上の集積が可能であることを明らかにした。

第 6 章「新規 **ReRAM** 素子作製手法の開発」では、本研究第 4 章で明らかにしたブリッジ構造形成機構に基づき、ブリッジ構造のピニングが酸素イオン注入により達成可能であることを提案・実証し

た。通常ブリッジ構造形成位置はランダムであるが、CuO は金属欠損型 p 型半導体であることから、酸素イオン注入により金属欠損によるリークパスを形成させることでこの形成位置を制御することに成功した。

最後に第 7 章「総括」において、本論文を通して得られた結果に関して総合的な討論、本論文の総括が行われている。

なお本論文第 4 章は、藤原宏平、中尾愛子、小林知洋、田中俊之、洲之内啓、鈴木嘉昭、武田麻衣、小島健太郎、中村吉伸、谷口耕治、高木英典各氏との共同研究、第 5 章、第 6 章は藤原宏平、中村吉伸、高木英典各氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験計画立案、試料作製、評価および考察を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上より本論文は、酸素の動きに着目することで、これまで未解明であった ReRAM の動作機構のうちブリッジ構造形成機構を解明し、明確な指針に基づく素子材料設計を可能にした点、および来るべき ReRAM 実用化に向けて、微細化に対応した新規素子作成技術を確立したという点で独創的かつ新しい成果であると言える。よって物質科学研究の発展に寄与するところ大であり、本論文は博士(科学)の学位請求論文として合格であると認められる。